



УДК 622.794

ВЛИЯНИЕ СОЛЕНОСТИ ГИДРОСМЕСИ ЗОЛЬНОЙ ПЫЛИ НА ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ ПРИ ГИДРОТРАНСПОРТЕ ПО ТРУБАМ

ИРЖИ СОБОТА

Университет экологии и биологии, Вроцлав, Польша

На польских шахтах для закладки выработанного пространства используются гидросмеси из зольной пыли. В последние годы для приготовления смеси используют минерализованную шахтную воду, которая не содержит поверхностные воды. Использование соленой воды для приготовления смеси из зольной пыли приводит к потерям энергии во время движения потока в трубопроводе. В статье представлены результаты измерений потерь энергии, полученные при проведении лабораторных экспериментов в трубопроводе диаметром $D = 50$ мм. Измерения проводились для различных составов зольной пыли и соленой воды. Протестированная зольная пыль для приготовления смеси закладки поступала из ТЭЦ Siersza и имела свои особенности (гранулометрический состав и плотность). Установлено, что увеличение солености жидкости (воды) изменяет ее вязкость. Рассол по сравнению с чистой водой характеризуется повышенной вязкостью, которая влияет на свойства смеси зола-рассол, вызывая эффект флокуляции. Также изменение солености смеси влияет на величину коэффициента сопротивления (трения) λ при течении потока в трубопроводе. Увеличение концентрации зольной пыли в смеси приводит к увеличению потерь энергии.

Ключевые слова: гидротранспорт, установка трубопровода, смесь соленой воды и зольной пыли

Как цитировать эту статью: Собота Иржи. Влияние солености гидросмеси зольной пыли на потери энергии при гидротранспорте по трубам // Записки Горного института. 2017. Т. 225. С. 342-345. DOI: 10.18454/PMI.2017.3.342

Введение. Добыча полезных ископаемых приводит к появлению огромных пустот после выемки минералов. Данные пространства при отсутствии закладки могут стать источниками опасности для наземных объектов и вызвать неблагоприятные изменения в окружающей среде. Например, в зоне ведения горных работ часто происходят изменение состояния подземных вод, деформация поверхности земли и т.д. С другой стороны, разработка природных ресурсов, их обогащение и использование приводят к появлению большого количества отходов и пустой породы. В результате горных работ возникают два вида отходов: от добычи (пустая порода и т.д.), от процесса обогащения.

Значительная группа отходов образуется на предприятиях энергетического комплекса (ТЭЦ и ЭС), где используют каменный и бурый уголь. Основными типами отходов в энергетике являются летучая зола (пыль) и шлак. Отходы необходимо где-то хранить, чаще всего проблема решается путем создания отвалов на поверхности земли. Этот способ имеет свои недостатки, а именно, увеличение количества занимаемой отвалом площади. Огромные размеры отвалов вызывают изменения в ландшафте и окружающей среде. Физические и химические свойства хранимых веществ приводят к некоторым трудностям при их вторичном использовании [1-5].

Отвалы без должной системы защиты, которая позволяет контролировать загрязнение земли, наносят вред окружающей среде (почве, поверхностным водам, воздуху, грунту и т.д.) и человеку косвенно и прямо. Отходы от горных работ могут иметь не только твердую, но и жидкую форму. При разработке природных ресурсов мы потребляем и другие ресурсы, например, воду. Физические и химические свойства воды, прошедшей через технический цикл, меняются, например, вода становится слишком соленой. Из-за наличия различных химических соединений и токсинов вода не может быть выгружена в поток поверхностных вод и подвергнута природному процессу биodeградации. Для защиты окружающей среды необходимо искать новые экологичные способы обращения с отходами.

В горном деле некоторые материалы, например, зольную пыль, шлак и т.д. можно использовать для закладки выработанного пространства. Данный способ утилизации отходов не является хранением, поскольку используются некоторые свойства для обеспечения эффективной и безопасной добычи. Некоторые составляющие зольной пыли можно использовать для материала в качестве закладки выработанного пространства.

Смесь для закладки. Чаще всего смесь для закладки состоит из зольной пыли, соленой воды, гипса и т.д. Она доставляется к месту закладки по трубопроводу. Для проектирования и установки труб необходимо знать параметры смеси (вязкость, концентрация, плотность), так как необходимо учитывать затраты энергии на транспортирование. Свойства смеси оказывают существенное влияние на изменения давления и параметры потока [6-9]. Потери давления при транспортировке смеси гораздо

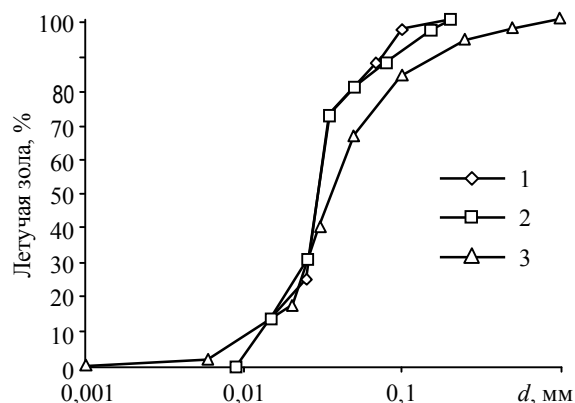


Рис.1. Распределение размеров частиц зольной пыли ТЭЦ Opole (1, 2) и Siersza (3)

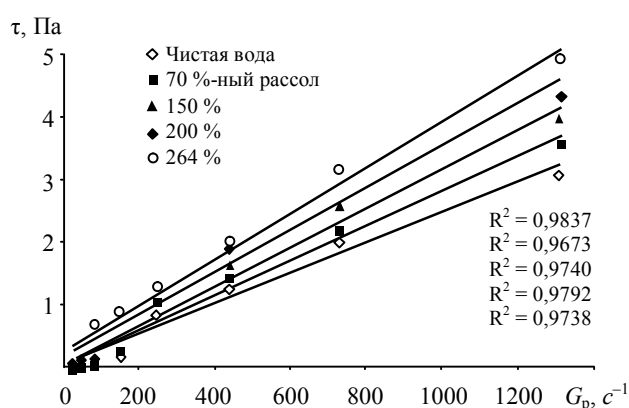


Рис.2. Кривые потока для чистой воды и различных рассолов

выше, чем при перекачивании чистой воды. Свойства смеси зависят от концентрации твердых частиц, вязкости жидкости и т.д. Свойства потока смеси изменяются в зависимости от увеличения в ней количества мелких частиц. При низкой концентрации смеси ее можно охарактеризовать при помощи ньютоновских свойств, но в случае увеличения концентрации выше некоторого уровня свойства меняются, и смесь становится неньютоновской. Смеси для закладки должны обладать определенными свойствами: хорошая транспортируемость в трубопроводе, хорошие показатели течения, адекватное время осаждения и консолидации, прочность при сжатии, способность выдерживать нагрузки, высокая сопротивляемость вымыванию при контакте с шахтными водами.

В Польше для приготовления закладочной смеси используют следующие вяжущие материалы: зола-унос, гипс, цемент Portland 35 и соленая вода с концентрацией 0-70 г/дм³. Добавление свободного диоксида кальция и гипса приводит к тому, что зольная пыль приобретает вяжущие свойства и при контакте с водой образует бетон с высокой прочностью на сжатие (1,9-6,8 МПа). Физические, химические и механические свойства золы зависят от типа сжигаемого угля. Плотность зольной пыли ρ_s изменяется в диапазоне 1,8-2,6 т/м³. Особенностью является то, что вяжущие материалы имеют определенное распределение размеров частиц, в частности, вся фракция имеет размер менее 1 мм. Типичное распределение размеров частиц зольной пыли ТЭЦ Польши показаны на рис.1. Можно отметить, что данная зола имеет большое количество фракции диаметром $d < 0,2$ мм, а процент фракции более 0,2 мм относительно невелик (до 15 % в редких случаях).

Измерение вязкости солевого раствора. Реологические характеристики (кривые $\tau = f(G_p)$) чистой и соленой воды были измерены при помощи ротационного вискозиметра Rheotest 2. Все реологические параметры чистой и соленой воды были оценены с помощью специальной программы, разработанной для работы с жидкостями низкой вязкости. Кривые потока для чистой воды можно рассматривать как параметры для сравнения и определения влияния содержания соли на изменение вязкости [10-13]. Определялись реологические свойства чистой воды и различных соляных растворов. Параметры протестированных рассолов показаны ниже:

| Соляной раствор | 70%-ный | 150%-ный | 200%-ный | 264%-ный |
|-------------------------------------|---------|----------|----------|----------|
| Содержание NaCl, г/дсм ³ | 70 | 150 | 200 | 264 |

Построенные кривые потока для различных концентраций растворов солей приведены на рис.2.

Исследование потока смеси зольной пыли и соленой воды. Для повышения количества применения соленой воды в качестве компонента гидравлической смеси при закладке выработанного пространства в данной работе выполнены лабораторные исследования влияния солёности воды на свойства смеси и потери энергии при течении жидкости в экспериментальном трубопроводе диаметром $D = 50$ мм. Эксперименты проводились в лаборатории гидравлики Института охраны окружающей среды Вроцлавского университета. Схема установки показана на рис.3.

Результаты. Были определены типичные физические и механические свойства сухой зольной пыли для заданного гранулометрического состава и плотности ρ_s . Кривая распределения размеров час-

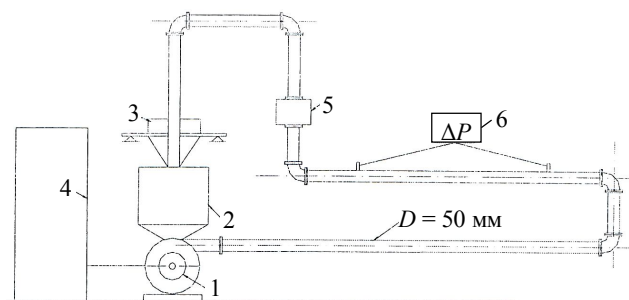


Рис.3. Схема лабораторного трубопровода $D = 50$ мм для измерения параметров транспортировки смеси

1 – насос, 2 – емкость для смеси, 3 – емкость для измерения, 4 – регулятор скорости насоса, 5 – индуктивный расходомер, 6 – датчик разности давления

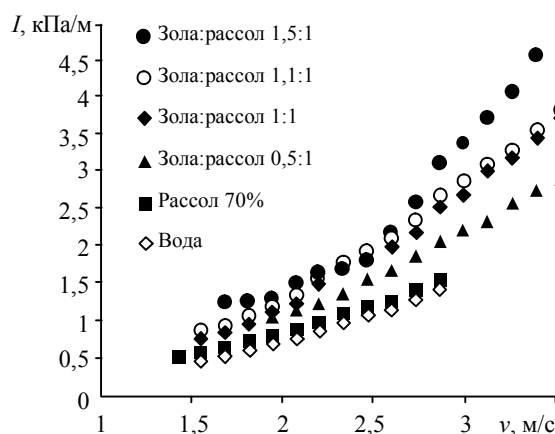


Рис.4. Затрачиваемая энергия для различных скоростей потока

• затраты энергии для различных соотношений масс в растворе частиц зольной пыли и 70 %-ного рассола, использовались соотношения 0,5:1, 1:1, 1,1:1 и 1,5:1.

Полученные данные о потерях давления $I = f(v)$ представлены на рис.4. Из рис.4 видно, что затраты энергии имеют тенденцию к увеличению при повышении скорости потока и одновременном увеличении количества золы в смеси. В процессе экспериментов определялись плотность смеси ρ_m и температура смеси T . На основе полученных данных о плотности смеси рассчитывалась объемная концентрация (см. таблицу). Плотность рассчитывалась по следующей формуле

$$\rho_m = \frac{m_0 - m}{V_m},$$

где ρ_m – плотность смеси; m_0 – контейнер со смесью; m – масса контейнера; V_m – объем смеси.

Объемная концентрация смеси рассчитывалась по формуле

$$c_v = \frac{\rho_m - \rho_w}{\rho_s - \rho_w},$$

где ρ_w – плотность воды; ρ_s – плотность зольной пыли.

Результаты экспериментов

| Параметры | Тип смеси | | | | | |
|--------------------------------------|-------------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | Чистая вода | Рассол | Зола-рассол | Зола-рассол | Зола-рассол | Зола-рассол |
| Массовое соотношение золы и раствора | – | 70 | 0,5:1 | 1:1 | 1,1:1 | 1,5:1 |
| T , °C | 16 | 16-17,5* | 21-21,5 | 25-26 | 27-27,5 | 28,5 |
| ρ_m , кг/м ³ | 1000 | 1021,2 | 1253,7 | 1420,0 | 1433,0 | 1501,5 |
| γ_m , кН/м ³ | 9,81 | 10,02 | 12,30 | 13,96 | 14,06 | 14,73 |
| c_v | – | 0,018 | 0,185 | 0,307 | 0,317 | 0,366 |

* Начало и конец эксперимента

тиц была получена ситовым анализом материала (см. рис.1). Плотность измерялась пикнометрическим методом.

Кривая распределения размеров частиц показывает, что зольная пыль ТЭЦ Siersza имеет диаметр частиц $d_{50} \approx 0,036$ мм. Содержание частиц песка ($0,05 \leq d \leq 2,0$ мм) составляет около 32 % от общей массы образца, однако содержание пыли ($0,002 \leq d \leq 0,05$ мм) достигает 68 %. Зола ТЭЦ Siersza содержит менее 2,5 % частиц диаметром менее 0,006 мм. Максимальный размер частицы $d = 1,0$ мм. Согласно стандарту Польши (PN-74/B-02480) измеренное распределение частиц данной золы соответствует распределению частиц песчаной пыли. Плотность золы равна $\rho_s = 2367,5$ кг/м³.

Как видно из рис.2, вязкость рассола повышается с увеличением концентрации соли. Рассол сохраняет жидкую форму с увеличением вязкости.

Затраты энергии при работе тестового трубопровода ($D = 50$ мм) проводились для смеси 70 г NaCl/дм³ раствора и зольной пыли. Измерения производились в следующем порядке:

- потери давления $I = f(v)$ для потока чистой воды; данная величина является контрольной при проверке работы датчиков и используемых калибровочных формул;
- затраты энергии для 70 %-ного рассола;

На основе известных данных о плотности смеси ρ_m и описанного метода рассчитывается расход энергии на метр столба смеси:

$$I_m = I_w \frac{\rho_w}{\rho_m},$$

где I_m – затраты энергии на метр столба смеси; I_w – затраты энергии на метр столба воды.

Результаты представлены на рис.5. Данные о затрате энергии показывают, что величина затрачиваемой энергии увеличивается с увеличением скорости потока смеси и возрастанием содержания зольной пыли в смеси (концентрация смеси).

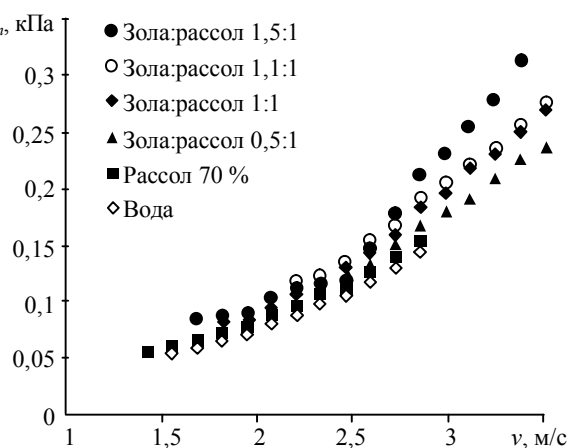


Рис.5. Потребляемая энергия на метр столба смеси

Выводы

Протестированная зольная пыль ТЭЦ Siersza имеет типичные свойства (распределения размеров частиц, плотность) для зол, используемых в смесях для закладки выработанного пространства. Повышение солености жидкости (воды) изменяет ее вязкость. Рассол по сравнению с чистой водой сохраняет жидкую форму даже при увеличении вязкости. Повышение вязкости может повлиять на характеристики смеси соленой воды и золы, например, вызвав эффект флокуляции. Изменения в солености также влияют на точность определения коэффициента сопротивления (трения) λ во время течения потока в трубопроводе, поскольку он зависит от числа Рейнольдса и вязкости жидкости соответственно. Увеличение концентрации зольной пыли в смеси приводит к увеличению потерь энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Boddu S. Behaviour of eccentrically and obliquely loaded footing on reinforced flyash // M.Tech. Thesis. IIT. Roorkee, 2002.
2. British standard code of practice for Strengthened / reinforced soils and other fills. BS: 8006-1997.
3. Chaney R.C. Pulverized coal ash as structural fill / R.C.Chaney, L.A.Dengler, H.Y.Fang // Journal of Geotechnical Engineering. ASCE. 1982. P. 1356-1359.
4. Das Arghya. Effect of Randomly Distributed Geofibers on the Piping Behaviour of Embankments Constructed With Fly Ash as a Fill Material / Arghya Das, Ch.Jayashree, B.V.S.Viswanadham // Geotextiles and Geomembranes. 2009. № 27. P. 341-349.
5. Desai M.D. Experience in shear testing for problems of earth dam foundations & embankment materials / Pre-conference Symposia on Pore Pressure & Shear Resistance of Soils. INS of SMFE, New Delhi, 1967.
6. Desai N.H. Experimental Investigation for use of Flyash as a Major Constituent with Clay for Construction of Embankment // M.Tech Thesis. D.D.University. Nadiad, 2007.
7. Venkatappa Rao G. Geosynthetics – new horizons / G.Venkatappa Rao, P.K.Banerjee, J.T.Shahu, G.V.Ramana. New Delhi: M/s Asian Books Pvt. Ltd, 2005. P. 24.
8. Geotechnical Software Suite GEO5- User's Guide Manual. Version 12. Fine Ltd, 2011.
9. Gupta K.K. Bearing capacity and settlement characteristics of reinforced flyash // M.E.Thesis. IITK. Roorkee, India, 1995.
10. Study on the application performances of saponated residue and fly ash mixture as geogrids reinforced earth retaining wall filling material / Ji-Shu Sun, Yuan-Ming Dou, Chun-Feng Yang, Jian-Cheng Sun. Geohunan International Conference. ASCE // Geotechnical Special Publication. 2009. № 197. P. 197-201.
11. K.Ramu. An experimental study of fly ash columned bed in expansive soil // Geotechnics in Infrastructures Development. Guntur, India. 2009. P. 77-79.
12. Mc Kittrick D.P. Reinforced earth: application of theory of research to practice / Keynote Address. Symposium on Soil Reinforcing & Stabilizing Techniques in Engg. Practice, Sydney, Australia, 1978.
13. Pal Sujit Kumar. Shear strength behaviour of indian fly ashes / Pal Sujit Kumar, Ghosh Ambarish // Geotechnics in Infrastructures Development. Guntur, India. 2009. P. 18-22.

Автор Иржи Собота, д-р техн. наук, профессор, jerzy.sobota@ur.wroc.pl (Университет экологии и биологии, Вроцлав, Польша).

Статья принята к публикации 2.02.2017.